

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 40 00 223 C 2

21 Aktenzeichen: P 40 00 223.3-24
22 Anmeldetag: 5. 1. 90
43 Offenlegungstag: 11. 7. 91
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15. 7. 93



51 Int. Cl. 5:
C 22 C 29/08
B 23 B 51/00
B 22 F 5/00
B 28 D 5/02
A 61 C 3/02



DE 40 00 223 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Mitsubishi Materials Corp., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Eitle, W., Dipl.-Ing.; Hoffmann, K., Dipl.-Ing.
Dr.rer.nat.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fuchsle, K.,
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Brauns, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Görg, K.,
Dipl.-Ing.; Kohlmann, K., Dipl.-Ing.; Kolb, H.,
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Ritter und Edler von
Fischern, B., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte; Nette, A.,
Rechtsanw., 8000 München

72 Erfinder:

Yoshimura, Hironori; Inada, Shyogo, Tokio/Tokyo,
JP

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

US 47 53 678
US 42 77 283
US 42 03 282
US 34 51 791

KIEFER, R., Dr.phil.nat. - BENESOVSKY, F., Dr.-Ing.:
Hartmetalle, Springer-Verlag, 1965, S. 227-229;



54 Mikrobohrer

DE 40 00 223 C 2

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Mikrobohrer (Mikrobohrerstück bzw. Mikrobohrerteil) aus zementiertem Carbid auf Basis Wolframcarbid, welcher eine hohe Abnutzungsbeständigkeit aufweist und weniger bruchanfällig ist.

Mikrobohrer des Standes der Technik wurden aus zementiertem Carbid auf Basis Wolframcarbid (WC) hergestellt, das ca. 1,0 Gew.-% Tantalcarbid (TaC) zur Verhinderung des Kornwachstums von Wolframcarbid (WC) in einer harten dispergierten Phase sowie ca. 6 Gew.-% einer Kobaltlegierung aus einer festen Lösung von Kobalt (Co) mit Wolfram enthält.

Die vorgenannten Mikrobohrer des Standes der Technik waren bruchanfällig. Deswegen könnte der Kobaltgehalt im zementierten Carbid erhöht werden, um die Bruchbeständigkeitseigenschaften zu verbessern. Ein einfaches Erhöhen des Kobaltgehalts führt jedoch zu einer unangemessenen Erniedrigung der Abnutzungsbeständigkeit der Mikrobohrer. Somit ist seit langem die Entwicklung eines neuen Carbidzements angestrebt worden, der nicht nur eine große Bruchbeständigkeit, sondern auch eine hohe Abnutzungsbeständigkeit aufweist.

US-PS 34 51 791 beschreibt Hartmetallzusammensetzungen aus einem Wolframcarbidkörper, der 3 bis 15 Gew.-% einer Binderphase aus einer Kobaltlegierung, die im wesentlichen aus Kobalt und 8 bis 33 Gew.-% Wolfram besteht, enthält.

US-PS 47 53 678 betrifft ein gesintertes Hartmetall, das ein zementiertes Wolframcarbid ist, welches aus Wolframcarbid als Basislegierung gebildet wird, das 4 bis 20 Gew.-% Vanadiumcarbid oder Zirkoniumnitrid enthält.

DE-Buch: Dr. Phil. Nat. R. Kieffer und Dr. Ing. F. Benesovsky, "Hartmetalle", Springer-Verlag 1965, S. 227 bis 229 beschreibt die Verwendung von Kobaltbindern in Wolframcarbid-Hartlegierungen. Es wird auf den teilweisen Ersatz des Kobalts (bis zu 30%) durch Eisen oder Nickel hingewiesen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Carbidzement-Mikrobohrer auf Basis Wolframcarbid zur Verfügung zu stellen, der nicht nur weniger bruchanfällig ist, sondern auch eine hohe Abnutzungsbeständigkeit aufweist.

Erfindungsgemäß wird daher ein Mikrobohrer bereitgestellt, hergestellt aus zementiertem Carbid auf Basis WC, enthaltend eine Binderphase aus 6 bis 14 Gew.-% einer Kobaltlegierung sowie eine harte dispergierte Phase aus Wolframcarbid als Rest. Die Kobaltlegierung ist zusammengesetzt aus Kobalt, Chrom, Vanadium und Wolfram, und weist solche Gewichtsverhältnisse auf, um den Beziehungen

$$0,04 \leq (c+d)/(a+b+c+d) \leq 0,10, 0,50 \leq c/(c+d) \leq 0,95 \text{ und } 0,005 \leq a/(a+b+c+d) \leq 0,095$$

zu genügen, wobei a, b, c und d Gewichtsverhältnisse von Wolfram, Kobalt, Chrom bzw. Vanadium bezeichnen. Zudem ist der Bohrer der vorliegenden Erfindung so ausgestaltet, daß er eine Rockwell-A-Härte (HRA) im Bereich von 92,0 bis 94,0 besitzt.

Nach umfangreichen Untersuchungen von Verbesserungsmöglichkeiten der Mikrobohrer des Standes der Technik haben die Erfinder herausgefunden, daß das Kornwachstum von Wolframcarbid wirksamer durch die Zugabe einer angemessenen Menge an Vanadium (V) und Chrom (Cr) als durch eine Zugabe von Tantalcarbid verhindert werden kann und daß eine vorbestimmte Menge an Wolfram in die Kobaltlegierung eingeschlossen werden sollte, um die angestrebten Eigenschaften zu erhalten. Auf diese Weise haben die Erfinder einen Carbidzement auf Basis WC entwickelt, um ihn zur Herstellung eines Mikrobohrers gemäß der vorliegenden Erfindung einzusetzen. Das zementierte Carbid enthält eine Binderphase aus 6 bis 14 Gew.-% einer Kobaltlegierung und eine harte dispergierte Phase aus Wolframcarbid als Rest. Die Kobaltlegierung ist zusammengesetzt aus Kobalt, Chrom, Vanadium und Wolfram und weist solche Gewichtsverhältnisse auf, daß die Beziehungen

$$0,04 \leq (c+d)/(a+b+c+d) \leq 0,10, 0,50 \leq c/(c+d) \leq 0,95 \text{ und } 0,005 \leq a/(a+b+c+d) \leq 0,095$$

erfüllt sind, wobei a, b, c und d Gewichtsverhältnisse von Wolfram, Kobalt, Chrom und Vanadium bezeichnen. Ein Mikrobohrer gemäß der vorliegenden Erfindung wird aus dem vorgenannten zementierten Carbid hergestellt und besitzt eine Rockwell-A-Härte im Bereich von 92,0 bis 94,0.

Dementsprechend wird der sich ergebende Mikrobohrer bruchanfällig, falls der Gehalt der Kobaltlegierung weniger als 6 Gew.-% beträgt. Andererseits wird der Mikrobohrer zu Verbiegungen und Brüchen neigen, falls der Gehalt der Kobaltlegierung 14 Gew.-% übersteigt. Auf der Grundlage dieser Ausgestaltung wird die Rockwell-A-Härte des Mikrobohrers gesteigert, um im vorgenannten Bereich zu liegen.

Ferner sind die Mengen an Vanadium und Chrom in der Kobaltlegierung so festgelegt, daß sie Gewichtsverhältnisse besitzen, die die Beziehung $0,04 \leq (c+d)/(a+b+c+d) \leq 0,10$ erfüllen. Falls das durch $(c+d)/(a+b+c+d)$ definierte Verhältnis kleiner als 0,04 ist, kann das Kornwachstum von Wolframcarbid in der harten dispergierten Phase nicht wirksam verhindert werden, und die Rockwell-A-Härte wird auf weniger als 92,0 begrenzt, so daß die Abnutzungsbeständigkeit des Mikrobohrers unangemessen herabgesetzt wird. Andererseits wird der Mikrobohrer bruchanfällig, falls das Verhältnis über 0,10 liegt.

Vanadium und Chrom werden zugefügt, um eine feste Lösung mit der Kobaltlegierung zu bilden. Durch diese Vorgehensweise wird die Menge an Wolfram, das mit der Kobaltlegierung eine feste Lösung bildet, herabgesetzt, somit wird verhindert, daß sich die Zähigkeit der Kobaltlegierung vermindert, und die Bruchbeständigkeit des Mikrobohrers kann wesentlich verbessert werden. Das Vanadium und Chrom werden als Verbindungen, wie Carbide, Nitride, Oxide und Hydride, zugegeben.

Darüber hinaus kann der Mikrobohrer gemäß der vorliegenden Erfindung des weiteren einen harten Überzug

enthalten, der durch Dampfabscheidung auf der Oberfläche des vorgenannten zementierten Carbids erzeugt wird, um die Abnutzungsbeständigkeit weiter zu steigern. Der harte Überzug kann mindestens eine Verbindung enthalten, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Titancarbid (TiC), Titancarbonitrid (TiCN) und Titanitrid (TiN), und in diesem Fall wird die Dicke auf einen Bereich von 0,1 µm bis 4,0 µm festgelegt. Falls die Dicke weniger als 0,1 µm beträgt, wird die Abnutzungsbeständigkeit nicht hinreichend gesteigert. Andererseits wird der Bohrer bruchanfällig, falls die Dicke 4,0 µm übersteigt. Der harte Überzug kann auch aus Diamant gebildet sein, und zwar in einer Dicke von 0,1 µm bis 4,0 µm. Dieser Bereich der Dicke wird aus ähnlichen Gründen im Hinblick auf Abnutzungsbeständigkeit und Bruchanfälligkeit festgelegt.

Die vorliegende Erfindung wird nun im einzelnen unter Bezug auf die folgenden Beispiele beschrieben.

Beispiel 1

Es wurden Pulver von WC (Durchschnittsteilchengröße: 0,6 µm), VC (1,0 µm), VN (1,2 µm), V_2O_5 (0,5 µm), Cr_3C_2 (1,5 µm), CrN (1,3 µm), Cr_2O_3 (0,5 µm), Co (1,2 µm), CrH (1,6 µm) und VH (1,7 µm) hergestellt. Diese Pulver wurden zu verschiedenen Zusammensetzungen vermischt, wie in Tabelle 1 aufgeführt, und in Aceton in einer Kugelmühle 72 h lang vermahlen und getrocknet.

Anschließend wurde eine kleine Menge Wachs zugefügt, und die vermischten Pulver wurden einer Extrusionsformung unter einem Druck von 147,099 MPa (15 kg/mm²) mittels einer Extrusionspresse unterworfen, um zylindrische Formkörper mit Grünfestigkeit eines Kreisquerschnitts von 4,60 mm Durchmesser zu erzeugen. Diese Formkörper wurden auf 400 bis 600°C 3 h lang erhitzt, um das Wachs zu entfernen, und dann gesintert, indem sie 1 h lang im Vakuum bei einer Temperatur von 1350 bis 1450°C gehalten wurden, um erfindungsgemäße zementierte Carbide 1 bis 15 auf Basis WC herzustellen.

Zu Vergleichszwecken wurden dieselben Pulver zu verschiedenen Zusammensetzungen vermischt, wie in Tabelle 3 aufgeführt, und es wurden dieselben Maßnahmen wie oben wiederholt, um zementierte Vergleichscarbide 1 bis 8 herzustellen.

Dann wurden die Zusammensetzungen und die Rockwell-A-Härten aller zementierten Carbide 1 bis 15 der Erfindung sowie der zementierten Vergleichscarbide 1 bis 8 ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabellen 2 und 4 aufgeführt.

Anschließend wurden die zementierten Carbide 1 bis 15 der Erfindung und die zementierten Vergleichscarbide 1 bis 8 zu Mikrobohrern 1 bis 15 der Erfindung bzw. Vergleichsbohrern 1 bis 8 maschinell verarbeitet. Jeder Mikrobohrer hatte eine Gesamtlänge von 38,1 mm, einen Schaftdurchmesser von 3,175 mm, einen Schneidbereichsdurchmesser von 0,4 mm und eine Schneidbereichslänge von 6 mm. Diese Mikrobohrer 1 bis 15 der Erfindung und die Vergleichsbohrer 1 bis 8 wurden einem Bohrttest unterworfen, wobei Bohrungen in Brettern von gedruckten Schaltkreisen unter den folgenden Bedingungen durchgeführt wurden:

Werkstück: zweilagige, vierschichtige Bretter aus Glas und Epoxy
Umdrehungsgeschwindigkeit: 70 000 UpM
Zuführungsgeschwindigkeit: 2100 mm/min
Anzahl von Bohrungen: 5000

Im Test wurde die Verminderung des Schneidbereichsdurchmessers eines jeden Mikrobohrers ermittelt. Ferner wurden alle vorgenannten Mikrobohrer einem anderen Bohrttest unter den folgenden Bedingungen unterworfen:

Werkstück: dreilagige, vierschichtige Bretter aus Glas und Epoxy
Umdrehungsgeschwindigkeit: 70 000 UpM
Zuführungsgeschwindigkeit: 3000 mm/min
Anzahl an Bohrungen: 1000

In diesem Test wurde bestimmt, wie viele Bohrer aus einer Anzahl von 20 zu Bruch gingen.

Die Ergebnisse aus obigen Tests sind in Tabellen 2 und 4 aufgeführt.

Wie aus den Tabellen 1 bis 4 ersichtlich, zeigten die Mikrobohrer 1 bis 15 der Erfindung ausgezeichnete Abnutzungs- und Bruchbeständigkeit, verglichen mit den Vergleichsbohrern 1 bis 8.

Beispiel 2

Es wurden die in Beispiel 1 erhaltenen Mikrobohrer 1 bis 13 der Erfindung herangezogen, und es wurden verschiedene Überzugsschichten, wie in Tabelle 5 aufgeführt, auf die Oberflächen der Mikrobohrer aufgebracht, um oberflächenbeschichtete Mikrobohrer 1 bis 9 mit bevorzugten Überzugsdicken sowie oberflächenbeschichtete Vergleichsbohrer 10 bis 13 mit Überzugsdicken außerhalb des bevorzugten Bereichs herzustellen. Diese Mikrobohrer wurden einem Bohrttest unter denselben Bedingungen wie in Beispiel 1 unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, zeigten die oberflächenbeschichteten Mikrobohrer 1 bis 9 der Erfindung eine größere Abnutzungs- und Bruchbeständigkeit als die oberflächenbeschichteten Vergleichsbohrer 10 bis 13.

Tabelle 1

5	Erfindungs- gemäße Bohrer	Mischungszusammensetzung der Pulver (Gew.-%)										Sinterbedingungen	
		WC	Co	Cr ₃ C ₂	CrN	Cr ₂ O ₃	CrH	VC	VN	V ₂ O ₅	VH	Temp. (°C)	Zeit (h)
10	1	Rest	6	0,3	-	-	-	0,3	-	-	-	1410	1
	2	Rest	6	0,5	-	-	-	-	0,2	-	-	1410	1
	3	Rest	6	-	0,5	-	-	0,2	-	-	-	1410	1
15	4	Rest	8	0,6	-	-	-	0,4	-	-	-	1390	1
	5	Rest	8	0,7	-	-	-	-	0,2	-	-	1390	1
	6	Rest	8	-	0,6	-	-	0,4	-	-	-	1390	1
20	7	Rest	9	0,7	-	-	-	0,4	-	-	-	1390	1
	8	Rest	9	-	0,7	-	-	-	0,4	-	-	1390	1
	9	Rest	10	0,8	-	-	-	0,4	-	-	-	1370	1
25	10	Rest	10	-	0,6	-	-	0,6	-	-	-	1370	1
	11	Rest	10	0,9	-	-	-	-	-	0,3	-	1370	1
	12	Rest	10	0,9	-	-	-	-	-	-	0,3	1370	1
30	13	Rest	12	1,3	-	-	-	0,5	-	-	-	1350	1
	14	Rest	12	-	-	0,6	-	1,0	-	-	-	1350	1
	15	Rest	12	-	-	-	0,9	0,5	-	-	-	1350	1

35

40

45

50

55

60

65

Tabelle 2

Erfindungs- gemäße Bohrer	Zusammensetzung des zementierten Carbids (Gew.-%)							Härte	Bohrtests		
	Binderphase								Redu- zierung des Schneid- be- reichs- durch- messers	Anzahl an ge- broche- nen Boh- rern/ Zahl der ge- testeten Bohrer	
	Binderphasenzusammensetzung (Gewichtsverhältnis)										
	c/A	d/A	(c+d)/A	c/(c+d)	a/A	b/A	A	WC	HRA	(μm)	
1	0,037	0,009	0,046	0,804	0,095	Rest	0,070	Rest	93,8	10	3/20
2	0,065	0,006	0,071	0,915	0,021	Rest	0,066	Rest	93,5	13	2/20
3	0,057	0,009	0,066	0,864	0,063	Rest	0,069	Rest	93,5	12	2/20
4	0,056	0,008	0,064	0,875	0,067	Rest	0,092	Rest	93,3	12	0/20
5	0,057	0,003	0,060	0,950	0,030	Rest	0,088	Rest	92,9	15	0/20
6	0,051	0,008	0,059	0,864	0,082	Rest	0,093	Rest	93,1	13	0/20
7	0,058	0,008	0,066	0,879	0,077	Rest	0,105	Rest	93,2	12	0/20
8	0,054	0,008	0,062	0,871	0,061	Rest	0,103	Rest	93,0	15	1/20
9	0,061	0,008	0,069	0,884	0,046	Rest	0,113	Rest	92,8	15	0/20
10	0,041	0,007	0,048	0,854	0,087	Rest	0,116	Rest	93,0	15	0/20
11	0,070	0,008	0,078	0,897	0,025	Rest	0,112	Rest	92,6	18	1/20
12	0,070	0,008	0,078	0,897	0,020	Rest	0,111	Rest	92,6	17	0/20
13	0,084	0,010	0,094	0,894	0,019	Rest	0,135	Rest	92,6	17	3/20
14	0,022	0,019	0,041	0,537	0,005	Rest	0,126	Rest	93,1	15	3/20
15	0,031	0,009	0,040	0,775	0,050	Rest	0,132	Rest	92,4	20	2/20

a: W, b: Co, c: Cr, d: V
A = a+b+c+d

a: W, b: Co, c: Cr, d: V
A = a+b+c+d

Tabelle 3

Ver- gleichs- bohrer	Mischungszusammensetzung der Pulver (Gew.-%)										Sinterbedingungen		
	WC	Co	Cr ₃ C ₂	CrN	Cr ₂ O ₃	CrH	VC	VN	V ₂ O ₅	VH	Temp. (°C)	Zeit (h)	
1	Rest	5	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	1410	1	
2	Rest	13	0,2	-	-	-	0,6	-	-	-	1350	1	
3	Rest	10	0,1	-	-	-	0,4	-	-	-	1370	1	55
4	Rest	8	1,8	-	-	-	0,4	-	-	-	1390	1	
5	Rest	10	0,8	-	-	-	0,05	-	-	-	1370	1	
6	Rest	8	0,6	-	-	-	1,8	-	-	-	1390	1	60
7	Rest	10	0	-	-	-	0,6	-	-	-	1370	1	
8	Rest	12	0,6	-	-	-	0	-	-	-	1390	1	65

Tabelle 4

5	Ver- gleichs- bohrer	Zusammensetzung des zementierten Carbids (Gew.-%)							Härte		Bohrtests	
		Binderphase									Redu- zierung des Schneid- be- reichs- durch- messers	Anzahl an ge- broche- nen Boh- rern/ Zahl der ge- testeten Bohrer
10		Binderphasenzusammensetzung (Gewichtsverhältnis)										
15		c/A	d/A	(c+d)/A	c/(c+d)	a/A	b/A	WC	HRA	(μ m)		
20	1	0,020	0,009	0,029	0,690	0,051	Rest	0,055	Rest	94,2	18	20/20
	2	0,012	0,013	0,025	0,480	0,150	Rest	0,146	Rest	91,5	65	15/20
	3	0,008	0,009	0,017	0,471	0,102	Rest	0,114	Rest	91,9	48	11/20
	4	0,115	0,003	0,118	0,975	0,066	Rest	0,098	Rest	93,3	33	20/20
25	5	0,052	0,001	0,053	0,981	0,107	Rest	0,119	Rest	91,8	58	12/20
	6	0,026	0,027	0,053	0,491	0,017	Rest	0,084	Rest	93,5	42	20/20
	7	0	0,009	0,009	0	0,080	Rest	0,110	Rest	92,6	40	10/20
	8	0,047	0	0,047	1,000	0,090	Rest	0,139	Rest	91,5	60	15/20
30	a: W, b: Co, c: Cr, d: V A = a+b+c+d											

Tabelle 5

	Mikrobohrer der Erfindung aus Tabelle 1	Harte Überzugsschichten	Durch- schnitts- dicke des Überzugs	Bohrtests Reduzierung des Schneid- bereichs- durchmessers (μm)	Anzahl der gebrochenen Bohrer/Anzahl der gete- steten Bohrer
40	Bohrer		(μm)		
45	Oberflächenbe- schichtete Bohrer der Erfindung				
	1	4	TiC	0,3	7
	2	4	TiN	1,2	7
	3	4	TiCN	0,6	6
50	4	9	TiC/TiN	1,5	6
	5	10	TiC/TiCN	1,3	7
	6	10	TiC/TiCN/TiN	3,8	7
	7	2	Künstlicher Diamant	0,9	6
	8	7	Künstlicher Diamant	2,0	7
55	9	7	Künstlicher Diamant	3,8	8
	Oberflächen- beschichtete Vergleichsbohrer				
	10	4	TiC	4,5	10
60	11	10	TiC/TiN	5,0	11
	12	5	Künstlicher Diamant	0,05	15
	13	10	Künstlicher Diamant	7,0	12

Patentansprüche

1. Mikrobohrer aus zementiertem Carbid auf Basis Wolframcarbid, das eine Binderphase aus 6 bis 14 Gew.-% einer Kobaltlegierung und eine harte dispergierte Phase aus Wolframcarbid als Rest enthält, wobei

die Kobaltlegierung aus Kobalt, Chrom, Vanadium und Wolfram zusammengesetzt ist und Gewichtsverhältnisse von Wolfram (a), Kobalt (b), Chrom (c) und Vanadium (d) in der Kobaltlegierung die folgenden Beziehungen erfüllt:

I. $0,04 \leq (c+d)/(a+b+c+d) \leq 0,10;$

4 - 10% !

5

II. $0,50 \leq (c)/(c+d) \leq 0,95;$ und

50 - 95%

III. $0,005 \leq (a) \leq (a+b+c+d) \leq 0,095,$

0,5 - 9,5%

10

und wobei das zementierte Carbid eine Rockwell A-Härte von 92,0 bis 94,0 besitzt.

2. Mikrobohrer gemäß Anspruch 1, der ferner einen darauf ausgebildeten harten Überzug einer Dicke von 0,1 µm bis 4,0 µm enthält, wobei der genannte harte Überzug aus mindestens einer Verbindung zusammengesetzt ist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Titancarbid, Titancarbonitrid und Titannitrid.

3. Mikrobohrer gemäß Anspruch 1, der ferner einen harten Überzug aus Diamant enthält, der darauf ausgebildet ist und eine Dicke von 0,1 µm bis 4,0 µm aufweist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65